

# SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT

Publication number: JP11150334

Publication date: 1999-06-02

Inventor: NOGUCHI HIROYASU; KATOU GOUSAKU; ISHIBASHI AKIRA

Applicant: SONY CORP

Classification:

- international: H01L33/00; H01S5/00; H01S5/347; H01S5/30;  
H01L33/00; H01S5/00; (IPC1-7): H01S3/18; H01L33/00

- European: H01L33/00D2B; H01S5/347; Y01N10/00

Application number: JP19970314108 19971114

Priority number(s): JP19970314108 19971114

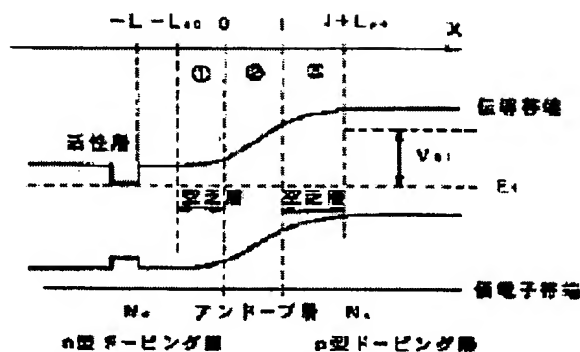
Also published as:

US6177690 (B1)

Report a data error here

## Abstract of JP11150334

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a semiconductor light-emitting element, which has good characteristics, is high in reliability and is long-lived. **SOLUTION:** In a semiconductor light-emitting element having a p-n junction or a p-i-n junction, an active layer is provided in the part, which is located at a position apart from a depletion layer between a p-type doped layer and an n-type doped layer, of the n-type doped layer or the p-type doped layer. In the semiconductor light-emitting element having the p-n junction, when the content, which is located in the direction (x) vertical to the active layer, of the intensity of light from the active layer is assumed  $p(x)$ , the (x) to give the maximum value  $P_{max}$  of the content is assumed  $x=0$  and the range of the (x) that is subjected to  $P(x) > P_{max}/e^{<2>}$  is assumed  $-Ln < x < Lp$ , the doping concentration in the n-type doped layer in the part of at least  $x > -Ln$  is made lower than that in the n-type doped layer in the part other than the part of  $x > -Ln$  or the doping concentration the p-type doped layer in the part of at least  $x < Lp$  is made lower than that in the p-type doped layer in the part other than the part of  $x < Lp$ .



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-150334

(43) Date of publication of application : 02.06.1999

(51)Int.Cl.

H01S 3/18  
H01L 33/00

(21)Application number : 09-314108

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 14.11.1997

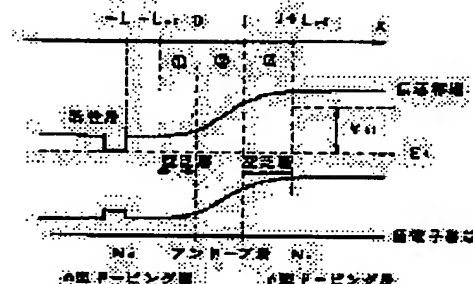
(72)Inventor : NOGUCHI HIROYASU  
KATOU GOUSAKU  
ISHIBASHI AKIRA

## (54) SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT

**(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a semiconductor light-emitting element, which has good characteristics, is high in reliability and is long-lived.

**SOLUTION:** In a semiconductor light-emitting element having a p-n junction or a p-i-n junction, an active layer is provided in the part, which is located at a position apart from a depletion layer between a p-type doped layer and an n-type doped layer, of the n-type doped layer or the p-type doped layer. In the semiconductor light-emitting element having the p-n junction, when the content, which is located in the direction (x) vertical to the active layer, of the intensity of light from the active layer is assumed  $p(x)$ , the (x) to give the maximum value  $P_{max}$  of the content is assumed  $x=0$  and the range of the (x) that is subjected to  $P(x) > P_{max}/e^2$  is assumed  $-\ln\langle x < L_p$ , the doping concentration in the n-type doped layer in the part of at least  $x > -L_n$  is made lower than that in the n-type doped layer in the part other than the part of  $x > -L_n$  or the doping concentration in the p-type doped layer in the part of at least  $x < L_p$  is made lower than that in the p-type doped layer in the part other than the part of  $x < L_p$ .



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

**[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]**

[Date of extinction of right]

AP

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-150334

(43) 公開日 平成11年(1999) 6月2日

(51) Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

D

審査請求 未請求 請求項の数25 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平9-314108

(22) 出願日 平成9年(1997)11月14日

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 野口 裕泰

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(72) 発明者 加藤 豪作

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(72) 発明者 石橋 晃

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

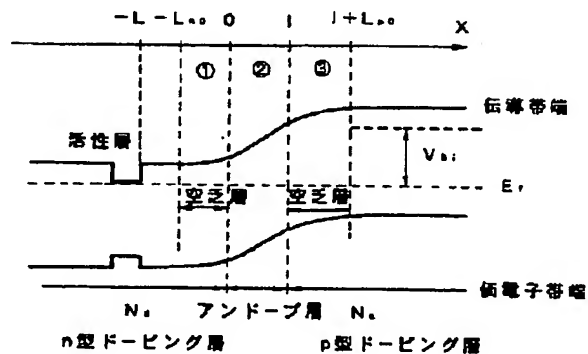
(74) 代理人 弁理士 杉浦 正知

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 特性が良好で、信頼性が高く、かつ長寿命の半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 p-n接合またはp-i-n接合を有する半導体発光素子において、p型ドーピング層とn型ドーピング層との間の空乏層から離れた位置のn型ドーピング層またはp型ドーピング層中に活性層を設ける。また、p-n接合を有する半導体発光素子において、活性層からの光強度の、活性層に垂直な方向xの成分をP(x)、その最大値P<sub>max</sub>を与えるxをx=0、P(x) > P<sub>max</sub>/e<sup>2</sup> となるxの範囲を-L<sub>n</sub> < x < L<sub>p</sub>としたとき、少なくともx > -L<sub>n</sub>の部分のn型ドーピング層のドーピング濃度をその他の部分のn型ドーピング層のドーピング濃度より低くし、あるいは、少なくともx < L<sub>p</sub>の部分のp型ドーピング層のドーピング濃度をその他の部分のp型ドーピング層のドーピング濃度より低くする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 p型ドーピング層とn型ドーピング層とからなるp-n接合またはp型ドーピング層とアンドープ層とn型ドーピング層とからなるp-i-n接合を有する半導体発光素子において、

上記p型ドーピング層と上記n型ドーピング層との間の空乏層から離れた位置における上記n型ドーピング層または上記p型ドーピング層中に活性層が設けられていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】 p型ドーピング層とn型ドーピング層とからなるp-n接合またはp型ドーピング層とアンドープ層とn型ドーピング層とからなるp-i-n接合を有する半導体発光素子において、

上記p型ドーピング層のドーピング濃度を $N_a$ 、上記n型ドーピング層のドーピング濃度を $N_d$ 、上記アンドープ層の厚さを $l$ （ただし、上記p-n接合の場合は $l=0$ と考える）、上記p型ドーピング層と上記n型ドーピング層との間に発生するビルトインポテンシャルを $V_{bi}$ 、上記p型ドーピング層、上記n型ドーピング層および上記アンドープの比誘電率を $\epsilon$ 、真空の誘電率を $\epsilon_0$ 、電子の電荷を $e$ としたとき、  
上記p型ドーピング層または上記アンドープ層と上記n型ドーピング層との境界から距離 $L$ だけ離れて上記n型ドーピング層中に活性層が設けられ、上記距離 $L$ は方程式

$$(e N_d / 2 \epsilon_0 \epsilon) \{ (N_d / N_a + 1) x^2 + 2 l x \} - V_{bi} = 0$$

を $x$ について解くことにより得られる正の値 $L_0$ に対して $L \geq L_0$ であることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項3】  $L \leq 150 \text{ nm}$ であることを特徴とする請求項2記載の半導体発光素子。

【請求項4】 上記n型ドーピング層のドーピング濃度が $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする請求項2記載の半導体発光素子。

【請求項5】 上記p型ドーピング層、上記n型ドーピング層、上記アンドープ層および上記活性層が、Zn、Cd、Mg、HgおよびBeからなる群より選ばれた少なくとも一種類以上のII族元素と、S、Se、TeおよびOからなる群より選ばれた少なくとも一種類以上のVI族元素とからなるII-VI族化合物半導体により構成されていることを特徴とする請求項2記載の半導体発光素子。

【請求項6】 上記n型ドーピング層にドーピングされたn型不純物がClであることを特徴とする請求項2記載の半導体発光素子。

【請求項7】 p型ドーピング層とn型ドーピング層とからなるp-n接合またはp型ドーピング層とアンドープ層とn型ドーピング層とからなるp-i-n接合を有する半導体発光素子において、

上記p型ドーピング層のドーピング濃度を $N_a$ 、上記n

型ドーピング層のドーピング濃度を $N_d$ 、上記アンドープ層の厚さを $l$ （ただし、上記p-n接合の場合は $l=0$ と考える）、上記p型ドーピング層と上記n型ドーピング層との間に発生するビルトインポテンシャルを $V_{bi}$ 、上記p型ドーピング層、上記n型ドーピング層および上記アンドープの比誘電率を $\epsilon$ 、真空の誘電率を $\epsilon_0$ 、電子の電荷を $e$ としたとき、

上記p型ドーピング層または上記アンドープ層と上記n型ドーピング層との境界から距離 $L$ だけ離れて上記p型ドーピング層中に活性層が設けられ、上記距離 $L$ は方程式

$$(e N_a / 2 \epsilon_0 \epsilon) \{ (N_a / N_d + 1) x^2 + 2 l x \} - V_{bi} = 0$$

を $x$ について得られる正の値 $L_0$ に対して $L \geq L_0$ であることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項8】  $L \leq 150 \text{ nm}$ であることを特徴とする請求項7記載の半導体発光素子。

【請求項9】 上記p型ドーピング層のドーピング濃度が $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする請求項7記載の半導体発光素子。

【請求項10】 上記p型ドーピング層、上記n型ドーピング層、上記アンドープ層および上記活性層が、Zn、Cd、Mg、HgおよびBeからなる群より選ばれた少なくとも一種類以上のII族元素と、S、Se、TeおよびOからなる群より選ばれた少なくとも一種類以上のVI族元素とからなるII-VI族化合物半導体により構成されていることを特徴とする請求項7記載の半導体発光素子。

【請求項11】 上記p型ドーピング層にドーピングされたp型不純物がNであることを特徴とする請求項6記載の半導体発光素子。

【請求項12】 p型ドーピング層とn型ドーピング層とからなるp-n接合を有する半導体発光素子において、

活性層から放出される光の強度の、上記n型ドーピング層から上記p型ドーピング層に向かう方向にとった座標軸 $x$ の方向の成分を $P(x)$ とし、 $P(x)$ の最大値 $P_{max}$ を与える $x$ を $x=0$ 、 $P(x) > P_{max} / e^2$ （ただし、 $e$ は自然対数の底）となる $x$ の範囲を $-L_n < x < L_p$ としたとき、

少なくとも $x > -L_n$ の部分における上記n型ドーピング層のドーピング濃度 $N_{ds}$ がその他の部分における上記n型ドーピング層のドーピング濃度 $N_d$ より低いことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項13】 少なくとも $x < L_p$ の部分における上記p型ドーピング層のドーピング濃度 $N_{as}$ がその他の部分における上記p型ドーピング層のドーピング濃度 $N_a$ より低いことを特徴とする請求項12記載の半導体発光素子。

【請求項14】 上記n型ドーピング層のドーピング濃

度 $N_{ds}$ が $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする請求項12記載の半導体発光素子。

【請求項15】 上記n型ドーピング層のうちのドーピング濃度が $N_{ds}$ である層の厚さを $L_{ns}$ としたとき、 $L_{ns}$ が500nm以下であることを特徴とする請求項12記載の半導体発光素子。

【請求項16】 上記n型ドーピング層のうちのドーピング濃度が $N_{ds}$ である層の厚さを $L_{ns}$ 、上記p型ドーピング層のうちのドーピング濃度が $N_{ps}$ である層の厚さを $L_{ps}$ としたとき、 $L_{ps}$ および $L_{ns}$ のうちの少なくとも一方が500nm以下であることを特徴とする請求項13記載の半導体発光素子。

【請求項17】 上記p型ドーピング層、上記n型ドーピング層および上記活性層が、Zn、Cd、Mg、HgおよびBeからなる群より選ばれた少なくとも一種類以上のII族元素と、S、Se、TeおよびOからなる群より選ばれた少なくとも一種類以上のVI族元素とからなるII-VI族化合物半導体により構成されていることを特徴とする請求項12記載の半導体発光素子。

【請求項18】 上記n型ドーピング層にドーピングされたn型不純物がC1であることを特徴とする請求項12記載の半導体発光素子。

【請求項19】 p型ドーピング層とn型ドーピング層とからなるp-n接合を有する半導体発光素子において、

活性層から放出される光の強度の、上記n型ドーピング層から上記p型ドーピング層に向かう方向にとった座標軸xの方向の成分を $P(x)$ とし、 $P(x)$ の最大値 $P_{max}$ を与えるxを $x=0$ 、 $P(x) > P_{max} / e^2$ （ただし、eは自然対数の底）となるxの範囲を $-L_n < x < L_p$ としたとき、

少なくとも $x < L_p$ の部分における上記p型ドーピング層のドーピング濃度 $N_{ps}$ がその他の部分における上記p型ドーピング層のドーピング濃度 $N_a$ より低いことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項20】 少なくとも $x > -L_n$ の部分における上記n型ドーピング層のドーピング濃度 $N_{ds}$ がその他の部分における上記n型ドーピング層のドーピング濃度 $N_d$ より低いことを特徴とする請求項19記載の半導体発光素子。

【請求項21】 上記p型ドーピング層のドーピング濃度 $N_{ps}$ が $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする請求項19記載の半導体発光素子。

【請求項22】 上記n型ドーピング層のうちのドーピング濃度が $N_{ds}$ である層の厚さを $L_{ns}$ 、上記p型ドーピング層のうちのドーピング濃度が $N_{ps}$ である層の厚さを $L_{ps}$ としたとき、 $L_{ps}$ および $L_{ns}$ のうちの少なくとも一方が500nm以下であることを特徴とする請求項20

記載の半導体発光素子。

【請求項23】 上記p型ドーピング層、上記n型ドーピング層および上記活性層が、Zn、Cd、Mg、HgおよびBeからなる群より選ばれた少なくとも一種類以上のII族元素と、S、Se、TeおよびOからなる群より選ばれた少なくとも一種類以上のVI族元素とからなるII-VI族化合物半導体により構成されていることを特徴とする請求項17記載の半導体発光素子。

【請求項24】 上記p型ドーピング層にドーピングされたp型不純物がNであることを特徴とする請求項19記載の半導体発光素子。

【請求項25】 p型ドーピング層とn型ドーピング層とからなるp-n接合を有する半導体発光素子において、

上記p-n接合の位置が通電によって移動しないように構成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、半導体発光素子に関し、例えば、II-VI族化合物半導体を用いた半導体発光素子に適用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】近年、高密度の光ディスクまたは光磁気ディスクに対する記録／再生に応用される青色ないし緑色で発光可能な半導体レーザーや、大画面ディスプレイや信号灯などに応用される青色ないし緑色で発光可能な発光ダイオードなどの研究開発が活発に行われている。

【0003】このような青色ないし緑色で発光可能な半導体発光素子の製造に用いる材料としては、亜鉛(Zn)、カドミウム(Cd)、マグネシウム(Mg)、水銀(Hg)、ベリリウム(Be)などのII族元素とイオウ(S)、セレン(Se)、テルル(Te)、酸素(O)などのVI族元素とからなるII-VI族化合物半導体が最も有望である。そして、このII-VI族化合物半導体を用いた半導体発光素子は、現在、素子特性の向上と長寿命化とが進められている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】このII-VI族化合物半導体を用いた半導体発光素子の寿命を決める要因としては、活性層内に存在する積層欠陥から生じる、転位の増殖が従来から指摘されてきた。そこで、この積層欠陥を低減させるために、II-VI族化合物半導体層の成長の前にGaAs基板上にGaAsバッファ層を成長させたり、II-VI族化合物半導体層の成長初期のシーケンスを最適化するなどの対策が講じられた結果、このII-VI族化合物半導体を用いた半導体発光素子の寿命は、室温で100時間を超えるに至った。その後、積層欠陥の低減に伴って、活性層内の点欠陥が次なる素子の劣化要因として挙げられている。この点欠陥の増殖を抑えるためには、点欠陥の数自体を少なくする成長条

件を確立することが重要であることはいままでもないが、さらに点欠陥同士の結合を防ぐために、点欠陥の電子状態を安定化させてその移動度を下げる必要がある。

【0005】さらに、 $\text{ZnCdSe}$  活性層を有する半導体発光素子においては、通電によって  $\text{Cd}$  の拡散が原因で起きると見られる発光波長の短波長側へのシフトや、アニールによる  $p$  型キャリア濃度の低下などが確認されており、結晶の構成原子や不純物の拡散により、素子特性が変化している可能性がある。しかしながら、これらの拡散現象を人為的に制御することは容易でない。

【0006】その一方で、 $\text{ZnCdSe}$  量子井戸層に窒素による  $p$  型ドーピングを行うと、熱アニールを行ったときに  $\text{Cd}$  の拡散が顕著に見られるという報告がなされている。この説明として、結晶中に存在する  $\text{II}$  族原子の空孔（以下「 $\text{II}$  族空孔」という）の電子状態が不安定になり、その移動度が増すことが原因であるとされている。すなわち、 $\text{II}$  族空孔は本来アクセプタとして自由電子を取り入れて安定化するため、 $p$  型伝導にすると結晶中の自由電子が少なくなり、 $\text{II}$  族空孔の電子状態が不安定になって移動しやすくなる。 $\text{II}$  族原子の  $\text{Cd}$  はこの空孔の移動を介して拡散を行うため、 $\text{II}$  族空孔の移動度の上昇に伴って  $\text{Cd}$  も拡散しやすくなる。このように、活性層の構成原子の拡散現象はドーピング手法と密接な関係があることが考えられ、これを最適化して活性層の劣化を最小限にすることが望ましい。

【0007】また、分離閉じ込めヘテロ構造 (Separate Confinement Heterostructure, SCH) を有する半導体発光素子は、活性層内部の光が屈折率の低いクラッド層にしみだしにくい構造になっており、光閉じ込めが有効に行われることが特徴である。しかしながら、完全に光を閉じ込めることは不可能であるため、クラッド層内部にしみだした光によって、もともと不安定な状態にある原子や欠陥のエネルギー状態が励起され、活性層方向に拡散する可能性がある。特に、 $\text{II-VI}$  族化合物半導体の不純物である塩素 ( $\text{Cl}$ ) や窒素 ( $\text{N}$ ) は  $\text{Zn}$  や  $\text{Se}$  などの構成原子に比べて格子定数が小さいため、原子間の結合が弱いことが考えられ、不安定なエネルギー状態になりやすい。実際、 $\text{II-VI}$  族化合物半導体を用いた半導体レーザにおいては、通電中に  $p$  型クラッド層のキャリア濃度が低下することが確認されており、これがしきい値電流の増加を招く原因となっている。これは、 $p$  型クラッド層中の  $\text{N}$  原子が光によって励起されて  $\text{VI}$  族原子の格子位置からはずれて不活性化したか、もしくは、 $n$  型クラッド層中の  $\text{Cl}$  原子が同様に励起されて拡散し  $p$  型クラッド層内に到達してアクセプタを補償してしまうことによると考えられる。

【0008】本発明者が行った実験によれば、半導体発光素子への通電を行うと、上述の  $n$  型クラッド層中の  $\text{Cl}$  原子の拡散によって  $p-n$  接合の位置の移動が生じる。すなわち、図 14 に示すような半導体発光素子を作

製し、この半導体発光素子への通電前後の  $p-n$  接合の位置を電子線励起電流 (Electron Beam Induced Current, EBIC) 法により測定したところ、通電前は図 15 に示すように  $p-n$  接合位置は全領域で活性層位置にあったのが、通電後では図 16 に示すようにストライプ領域だけ  $p-n$  接合位置が  $p$  側へ移動していることが明らかとなった。図 15 および図 16 において、EBIC 信号を斜線で施した領域で示した。このような  $p-n$  接合位置の移動で活性層へのキャリアの注入効率が低下し、しきい値電流が高くなり、素子寿命が短くなると考えられる。

【0009】以上のような理由により、これまでは、特性が良好で、信頼性が高く、かつ長寿命の半導体発光素子を実現することは困難であった。

【0010】したがって、この発明の目的は、活性層近傍の点欠陥ないし構成原子の電子状態をドーピングによって人為的に抑制し、その電子状態を安定化することで点欠陥や構成原子の拡散を防止し、これによって活性層の劣化を防止することができることにより、例えば点欠陥の凝集や増殖によって生じる暗点により発光効率が低下し、しきい値電流の上昇を招くという問題を防ぐことができ、それによって、特性が良好で、信頼性が高く、かつ長寿命の半導体発光素子を提供することにある。

【0011】この発明の他の目的は、活性層に近い領域ではドーピング量を十分に少なくすることで、光場によって原子間結合の弱い不純物原子の電子状態が励起され、拡散することを防止することができる、特性が良好で、信頼性が高く、かつ長寿命の半導体発光素子を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明者は、従来技術が有する上述の課題を解決すべく、鋭意検討を行った結果、従来の半導体発光素子において、すでに述べたようなメカニズムで活性層の劣化などが生じる主たる要因は、活性層が  $p$  型ドーピング層と  $n$  型ドーピング層との間の空乏層内に位置しているため、それ自身が空乏化していることにあることを見出し、したがって、上述の課題を解決するためには、活性層を空乏層から離れた位置の  $n$  型ドーピング層または  $p$  型ドーピング層中に設けるのが有効であるという結論に至った。このために必要な条件について以下に説明する。

【0013】図 1 は、 $p$  型ドーピング層とアンドープ層と  $n$  型ドーピング層とからなる  $p-i-n$  接合のエネルギーバンド図を模式的に示す。ここで、 $p$  型ドーピング層のドーピング濃度を  $N_a$ 、 $n$  型ドーピング層のドーピング濃度を  $N_d$ 、アンドープ層の厚さを  $l$ 、 $p$  型ドーピング層、アンドープ層、 $n$  型ドーピング層および活性層の比誘電率を  $\epsilon$ 、真空の誘電率を  $\epsilon_0$ 、電子の電荷を  $e$  とする。今、図 1 に示すように、 $n$  型ドーピング層から  $p$  型ドーピング層に向かう方向に座標軸  $x$  をとり、アン

ドーピング層とn型ドーピング層との境界を  $x=0$  とする。  
n型ドーピング層およびp型ドーピング層に生じる空乏層の厚さをそれぞれ  $L_{n0}$ 、 $L_{p0}$  とする。また、n型ドーピング層とp型ドーピング層との間には、ドーピングレベルに起因するビルトインポテンシャル  $V_{Bi}$  が生じてい \*

＊る。平衡状態における電界強度分布は図2に示すようになり、領域①、②、③におけるポテンシャルは次のように求められる。

【0014】すなわち、ポアソン方程式より、電界を  $E$  で表すと、

$$\text{領域①} \quad dE/dx = eN_d / \epsilon_0 \epsilon \quad (1)$$

$$\text{領域②} \quad dE/dx = 0 \quad (2)$$

$$\text{領域③} \quad dE/dx = -eN_a / \epsilon_0 \epsilon \quad (3)$$

が成り立つ。

※て、 $E(-L_{n0}) = 0$  および  $E$  の連続性を用いると、

【0015】(1)、(2) および (3) 式を積分し ※10

$$\text{領域①} \quad E = (eN_d / \epsilon_0 \epsilon) (x + L_{n0}) \quad (4)$$

$$\text{領域②} \quad E = eN_d L_{n0} / \epsilon_0 \epsilon \quad (5)$$

$$\text{領域③} \quad E = (e / \epsilon_0 \epsilon) \{ N_d L_{n0} - N_a (x - 1) \} \quad (6)$$

となる。

★-Eであるから、(4)、(5) および (6) 式を積分

【0016】ポテンシャルを  $\phi$  で表すと、 $d\phi/dx = \star$  して、 $\phi(-L_{n0}) = 0$  および  $\phi$  の連続性を用いると、

$$\text{領域①} \quad \phi(x) = (-eN_d / 2\epsilon_0 \epsilon) (x + L_{n0})^2 \quad (7)$$

$$\text{領域②} \quad \phi(x) = (-eN_d / \epsilon_0 \epsilon) (L_{n0}x + L_{n0}^2 / 2) \quad (8)$$

$$\text{領域③} \quad \phi(x) = (-e / \epsilon_0 \epsilon) \{ N_d L_{n0}x - N_a (x - 1)^2 / 2 + N_d L_{n0}^2 / 2 \} \quad (9)$$

となる。

20 ☆より

【0017】 $\phi(1 + L_{p0}) = -V_{Bi}$  だから、(9) 式 ☆

$$\begin{aligned} & N_d L_{n0} (1 + L_{p0}) - N_a L_{p0}^2 / 2 \\ & + N_d L_{n0}^2 / 2 = V_{Bi} (\epsilon_0 \epsilon / e) \quad (10) \end{aligned}$$

が成り立つ。ここで、 $N_d L_{n0} = N_a L_{p0}$  を用いると、

$$\begin{aligned} & N_d L_{n0} (1 + N_d L_{n0} / N_a) - N_a (N_d L_{n0} / N_a)^2 / 2 \\ & + N_d L_{n0}^2 / 2 = V_{Bi} (\epsilon_0 \epsilon / e) \quad (11) \end{aligned}$$

となる。(11) 式をまとめると、

$$\begin{aligned} & (eN_d / 2\epsilon_0 \epsilon) \{ (N_d / N_a + 1) L_{n0}^2 + 2 L_{n0} \} \\ & - V_{Bi} = 0 \quad (12) \end{aligned}$$

となる。

30 ◆と、

【0018】ここで、(12) 式の  $L_{n0}$  を  $x$  で置き換える ◆

$$\begin{aligned} & (eN_d / 2\epsilon_0 \epsilon) \{ (N_d / N_a + 1) x^2 + 2 L_{n0} x \} \\ & - V_{Bi} = 0 \quad (13) \end{aligned}$$

となる。したがって、(13) 式を  $x$  について解き、得られる解のうち正の値  $L_0$  に対して、 $L \geq L_0$  となる距離  $L$  だけ、アンドープ層とn型ドーピング層との境界から離れた位置のn型ドーピング層中に活性層を設けることにより、活性層を空乏層から離すことができる。

＊る場合についてであるが、p型ドーピング層中に活性層を設ける場合も全く同様である。すなわち、この場合には、(12)、(13) 式に対応する式はそれぞれ (14)、(15) 式ようになる。

【0020】

【0019】以上はn型ドーピング層中に活性層を設け \*

$$\begin{aligned} & (eN_a / 2\epsilon_0 \epsilon) \{ (N_a / N_d + 1) L_{p0}^2 + 2 L_{p0} \} \\ & - V_{Bi} = 0 \quad (14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (eN_a / 2\epsilon_0 \epsilon) \{ (N_a / N_d + 1) x^2 + 2 L_{p0} x \} \\ & - V_{Bi} = 0 \quad (15) \end{aligned}$$

5)

したがって、(15) 式を  $x$  について解き、得られる解のうち正の値  $L_0$  に対して、 $L \geq L_0$  となる距離  $L$  だけ、アンドープ層とp型ドーピング層との境界から離れた位置のp型ドーピング層中に活性層を設けることにより、活性層を空乏層から離すことができる。

5) 式より、

$$x = \{ -1 + (1^2 + 4\epsilon_0 \epsilon V_{Bi} / eN_d)^{1/2} \} / 2$$

となる。例えば、 $V_{Bi} = 2.6 \text{ eV}$ 、 $N_a = 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $N_d = 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $l = 100 \text{ nm}$ 、 $\epsilon = 9.3$  とすると、 $x = 76 \text{ nm}$  となる。

【0021】特に、 $N_a = N_d$  のときは、(13)、(15) 式より、

【0022】半導体発光素子がp-n接合を有する場合は、 $l=0$ と考えればよい。また、半導体発光素子が図3に示すようなSCH構造を有する場合にも、上述と同様である。

【0023】次に、活性層から放出される光の影響による活性層の劣化あるいはp-n接合位置の移動を防止するためには、光による励起で拡散する可能性のある不純物を光場からなるべく離すことが肝要になる。このために必要な条件について以下に説明する。

【0024】図4に、SCH構造を有する半導体発光素子の活性層近傍のエネルギーバンド図および光場の分布を示す。n型クラッド層からp型クラッド層に向かう方向に座標軸xをとる。今、活性層から放出される光の強度のx方向の成分を $P(x)$ とし、 $P(x)$ の最大値 $P_{max}$ を与えるxを $x=0$ とする。 $P(x)$ は、活性層近傍のバンド構造および各層の物性定数から計算することができる。ここで、活性層から放出される光のn型クラッド層への進入長 $L_n$ およびp型クラッド層への進入長 $L_p$ を、 $P(x)$ が最大値 $P_{max}$ の $1/e^2$ （ただし、eは自然対数の底）になる距離で定義する。このとき、 $P(x) > P_{max}/e^2$ となるxの範囲は $-L_n < x < L_p$ となる。バンド構造が活性層に関して対称であると仮定し、典型的なAlGaInP系III-V族化合物半導体を用いた半導体発光素子において計算を行うと、光導波層の厚さに対する $L_n$ および $L_p$ の関係を図5に示すように求めることができる。図5より、例えば光導波層の厚さの合計を200nmとした場合、 $L_n = L_p = 300$ nmとなり、クラッド層内部に300nm近く光がしみだしていることがわかる。

【0025】以上のことより、活性層から放出される光の影響を極力避け、活性層の劣化などを防止するためには、n型クラッド層のうちの少なくとも $x > -L_n$ の部分におけるドーピング濃度 $N_d$ をその他の部分におけるドーピング濃度 $N_a$ よりも低くするとともに、p型クラッド層のうちの少なくとも $x < L_p$ の部分におけるドーピング濃度 $N_a$ をその他の部分におけるドーピング濃度 $N_d$ よりも低くするのが有効である。あるいは、これらのいずれか一方のみを実施するだけでも有効な効果を得ることができる。

【0026】この発明は、本発明者による以上の検討に基づいて案出されたものである。

【0027】すなわち、上記目的を達成するために、この発明の第1の発明は、p型ドーピング層とn型ドーピング層とからなるp-n接合またはp型ドーピング層とアンドープ層とn型ドーピング層とからなるp-i-n接合を有する半導体発光素子において、p型ドーピング層とn型ドーピング層との間の空乏層から離れた位置におけるn型ドーピング層またはp型ドーピング層中に活性層が設けられていることを特徴とするものである。

【0028】この発明の第2の発明は、p型ドーピング

層とn型ドーピング層とからなるp-n接合またはp型ドーピング層とアンドープ層とn型ドーピング層とからなるp-i-n接合を有する半導体発光素子において、p型ドーピング層のドーピング濃度を $N_a$ 、n型ドーピング層のドーピング濃度を $N_d$ 、アンドープ層の厚さを $l$ （ただし、p-n接合の場合は $l=0$ と考える）、p型ドーピング層とn型ドーピング層との間に発生するビルトインポテンシャルを $V_{bi}$ 、p型ドーピング層、n型ドーピング層およびアンドープの比誘電率を $\epsilon$ 、真空の誘電率を $\epsilon_0$ 、電子の電荷を $e$ としたとき、p型ドーピング層またはアンドープ層とn型ドーピング層との境界から距離 $L$ だけ離れてn型ドーピング層中に活性層が設けられ、距離 $L$ は方程式

$$(eN_d/2\epsilon_0\epsilon)\{(N_d/N_a+1)x^2+2lx\}-V_{bi}=0$$

をxについて解くことにより得られる正の値 $L_0$ に対して $L \geq L_0$ であることを特徴とするものである。

【0029】この発明の第3の発明は、p型ドーピング層とn型ドーピング層とからなるp-n接合またはp型ドーピング層とアンドープ層とn型ドーピング層とからなるp-i-n接合を有する半導体発光素子において、p型ドーピング層のドーピング濃度を $N_a$ 、n型ドーピング層のドーピング濃度を $N_d$ 、アンドープ層の厚さを $l$ （ただし、p-n接合の場合は $l=0$ と考える）、p型ドーピング層とn型ドーピング層との間に発生するビルトインポテンシャルを $V_{bi}$ 、p型ドーピング層、n型ドーピング層およびアンドープの比誘電率を $\epsilon$ 、真空の誘電率を $\epsilon_0$ 、電子の電荷を $e$ としたとき、p型ドーピング層またはアンドープ層とn型ドーピング層との境界から距離 $L$ だけ離れてp型ドーピング層中に活性層が設けられ、距離 $L$ は方程式

$$(eN_a/2\epsilon_0\epsilon)\{(N_a/N_d+1)x^2+2lx\}-V_{bi}=0$$

をxについて得られる正の値 $L_0$ に対して $L \geq L_0$ であることを特徴とするものである。

【0030】この発明の第2および第3の発明においては、キャリアの注入効率を悪化させることなく、活性層を空乏層から遠ざける観点から、好適には $L \leq 150$ nmであり、より好適には $L \leq 100$ nm以下であり、さらに好適には $L \leq 50$ nmである。

【0031】この発明の第2および第3の発明においては、活性層内にドーピングを多量に行った場合、点欠陥も導入されやすくなり、非発光再結合の原因になる可能性があるため、発光効率を下げることなく活性層のエネルギー準位を安定化させる観点から、好適には $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下、より好適には $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0032】この発明の第4の発明は、p型ドーピング層とn型ドーピング層とからなるp-n接合を有する半導体発光素子において、活性層から放出される光の強度



の、 $n$ 型ドーピング層から $p$ 型ドーピング層に向かう方向にとった座標軸 $x$ の方向の成分を $P(x)$ とし、 $P(x)$ の最大値 $P_{\max}$ を与える $x$ を $x=0$ 、 $P(x) > P_{\max}/e^2$  (ただし、 $e$ は自然対数の底)となる $x$ の範囲を $-L_n < x < L_p$ としたとき、少なくとも $x > -L_n$ の部分における $n$ 型ドーピング層のドーピング濃度 $N_{ds}$ がその他の部分における $n$ 型ドーピング層のドーピング濃度 $N_d$ より低いことを特徴とするものである。

【0033】この発明の第5の発明は、 $p$ 型ドーピング層と $n$ 型ドーピング層とからなる $p-n$ 接合を有する半導体発光素子において、活性層から放出される光の強度の、 $n$ 型ドーピング層から $p$ 型ドーピング層に向かう方向にとった座標軸 $x$ の方向の成分を $P(x)$ とし、 $P(x)$ の最大値 $P_{\max}$ を与える $x$ を $x=0$ 、 $P(x) > P_{\max}/e^2$  (ただし、 $e$ は自然対数の底)となる $x$ の範囲を $-L_n < x < L_p$ としたとき、少なくとも $x < L_p$ の部分における $p$ 型ドーピング層のドーピング濃度 $N_{as}$ がその他の部分における $p$ 型ドーピング層のドーピング濃度 $N_a$ より低いことを特徴とするものである。

【0034】この発明の第4の発明においては、好適には、少なくとも $x < L_p$ の部分における $p$ 型ドーピング層のドーピング濃度 $N_{as}$ もその他の部分における $p$ 型ドーピング層のドーピング濃度 $N_a$ より低く、同様に、この発明の第5の発明においては、少なくとも $x > -L_n$ の部分における $n$ 型ドーピング層のドーピング濃度 $N_{ds}$ もその他の部分における $n$ 型ドーピング層のドーピング濃度 $N_d$ より低い。

【0035】この発明の第4および第5の発明においては、光場によって励起される不純物の数を十分に少なくするとともに、クラッド層の伝導性を損なわず、キャリアの注入効率の悪化によってしきい値電流が増大するという悪影響を防止する観点から、 $n$ 型ドーピング層のドーピング濃度 $N_{ds}$ または $p$ 型ドーピング層のドーピング濃度 $N_{as}$ は、好適には $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下、より好適には $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。

【0036】この発明の第4および第5の発明においては、キャリアの注入効率を下げないようにする観点から、 $n$ 型ドーピング層のうちのドーピング濃度が $N_{ds}$ である層の厚さ $L_{ns}$ または $p$ 型ドーピング層のうちのドーピング濃度が $N_{as}$ である層の厚さ $L_{ps}$ は、好適には $50 \text{ nm}$ 以下である。

【0037】この発明の第6の発明は、 $p$ 型ドーピング層と $n$ 型ドーピング層とからなる $p-n$ 接合を有する半導体発光素子において、 $p-n$ 接合の位置が通電によって移動しないように構成されていることを特徴とするものである。

【0038】ここで、半導体発光素子の端面から $100 \mu\text{m}$ 以内の領域において、 $p-n$ 接合が通電によって移動する距離が $300 \text{ nm}$ 以下であれば、実質的に $p-n$

接合の位置が移動しないといえる。

【0039】この発明において、 $p$ 型ドーピング層、 $n$ 型ドーピング層、アンドープ層および活性層は、典型的には、 $\text{Zn}$ 、 $\text{Cd}$ 、 $\text{Mg}$ 、 $\text{Hg}$ および $\text{Be}$ からなる群より選ばれた少なくとも一種類以上のII族元素と、 $\text{S}$ 、 $\text{Se}$ 、 $\text{Te}$ および $\text{O}$ からなる群より選ばれた少なくとも一種類以上のVI族元素とからなるII-VI族化合物半導体により構成されている。また、この場合、 $n$ 型ドーピング層にドーピングされている $n$ 型不純物は典型的にC1であり、 $p$ 型ドーピング層にドーピングされた $p$ 型不純物はNである。

【0040】上述のように構成されたこの発明の第1の発明によれば、 $p-n$ 接合または $p-i-n$ 接合を有する半導体発光素子において、 $p$ 型ドーピング層と $n$ 型ドーピング層との間に生じる空乏層から活性層を遠ざけることができることにより、活性層が空乏化することがなくなり、常に活性層近傍のフェルミ準位( $E_f$ )を伝導帯直下または価電子帯直下に保持することができる。これによって、例えばII-VI族化合物半導体を用いた半導体発光素子の場合、活性層近傍に多数存在するII族空孔などのアクセプタとして働く点欠陥やドナーとして働く点欠陥の電子状態を安定化することができ、その拡散および増殖などの劣化過程を抑えることができる。特に、 $\text{ZnCdSe}$ からなる活性層においては、II族空孔を介した $\text{Cd}$ の拡散を抑制することができるため、通電中に発振波長の短波長化によってしきい値電流が上昇することを抑制することができる。また、 $\text{Cd}$ の拡散に伴って活性層内に点欠陥が流入し、増殖することを防止することもできる。

【0041】上述のように構成されたこの発明の第2の発明によれば、 $p-n$ 接合または $p-i-n$ 接合を有する半導体発光素子において、 $p$ 型ドーピング層と $n$ 型ドーピング層との間に生じる空乏層から $n$ 型ドーピング層側に活性層を遠ざけることができることにより、活性層が空乏化することがなくなり、常に活性層近傍のフェルミ準位( $E_f$ )を伝導帯直下に保持することができる。これによって、例えばII-VI族化合物半導体を用いた半導体発光素子の場合、活性層近傍に多数存在するII族空孔などのアクセプタとして働く点欠陥の電子状態を安定化することができ、その拡散および増殖などの劣化過程を抑えることができる。特に、 $\text{ZnCdSe}$ からなる活性層においては、II族空孔を介した $\text{Cd}$ の拡散を抑制することができるため、通電中に発振波長の短波長化によってしきい値電流が上昇することを抑制することができる。また、 $\text{Cd}$ の拡散に伴って活性層内に点欠陥が流入し、増殖することを防止することもできる。

【0042】上述のように構成されたこの発明の第3の発明によれば、第2の発明とは逆に、 $p$ 型ドーピング層と $n$ 型ドーピング層との間に生じる空乏層から $p$ 型ドーピング層側に活性層を遠ざけることができることによ

り、活性層が空乏化することがなくなり、常に活性層近傍のフェルミ準位を価電子帯直下に保持することができる。これにより、ドナーとして働く点欠陥の電子状態を安定化することができ、その拡散および増殖を抑制することができる。

【0043】上述のように構成されたこの発明の第4の発明によれば、p-n接合を有する半導体発光素子において、活性層から放出される光の強度が $P(x) > P_{\max}/e^2$ である領域におけるn型ドーピング層のドーピング濃度 $N_{ds}$ がその他の部分より低いため、光場によって励起され、活性層方向に拡散するn型不純物の数を少なくすることができる。これによって、点欠陥の増殖を誘発したり、p型ドーピング層においてp型キャリアを補償するなどの劣化原因を防止することができる。

【0044】上述のように構成されたこの発明の第5の発明によれば、p-n接合を有する半導体発光素子において、活性層から放出される光の強度が $P(x) > P_{\max}/e^2$ である領域におけるp型ドーピング層のドーピング濃度 $N_{as}$ がその他の部分より低いため、第4の発明と同様に、光場によって励起され、活性層方向に拡散するp型不純物の数を少なくすることができる。これによって、同様に点欠陥の増殖を誘発したり、n型ドーピング層においてn型キャリアを補償するなどの劣化原因を防止することができる。

【0045】上述のように構成されたこの発明の第6の発明によれば、p-n接合を有する半導体発光素子において、通電によるp-n接合の位置の移動が防止されることにより、活性層へのキャリアの注入効率が低下したり、しきい値電流が増大して素子寿命が短くなるのを防止することができる。

【0046】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。なお、実施形態の全図において、同一または対応する部分には同一の符号を付す。

【0047】図6はこの発明の第1の実施形態による半導体レーザを示す。この半導体レーザはSCH構造を有するものである。

【0048】図6に示すように、この第1の実施形態による半導体レーザにおいては、n型不純物として例えばシリコン(Si)がドーピングされた例えば(001)面方位のn型GaAs基板1上に、n型GaAsバッファ層2、n型ZnSeバッファ層3、n型ZnSSeバッファ層4、n型ZnMgSSeクラッド層5、n型ZnSSe光導波層6a、例えばn型のZnCdSe層を量子井戸層とする単一量子井戸(SQW)構造または多重量子井戸(MQW)構造の活性層7、n型ZnSSe光導波層6b、アンドープZnSSe光導波層8、p型ZnMgSSeクラッド層9、p型ZnSSeキャップ層10、p型ZnSeコンタクト層11、p型ZnSe/Zn

nTeMQW層12およびp型ZnTeコンタクト層13が順次積層されている。

【0049】ここで、n型GaAsバッファ層2は厚さが例えば $0.5\mu\text{m}$ であり、n型不純物として例えばSiがドーピングされている。n型ZnSeバッファ層3は厚さが例えば $30\text{nm}$ であり、n型不純物として例えばClが例えば $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ドーピングされている。n型ZnSSeバッファ層4は厚さが例えば $50\text{nm}$ であり、n型不純物として例えばClが例えば $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ドーピングされている。n型ZnMgSSeクラッド層5は厚さが例えば $0.8\mu\text{m}$ であり、n型不純物として例えばClが例えば $3 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ドーピングされている。n型ZnSSe光導波層6aは厚さが例えば $100\text{nm}$ であり、n型不純物として例えばClが例えば $1 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ドーピングされている。活性層7にはn型不純物として例えばClが例えば $1 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ドーピングされている。n型ZnSSe光導波層6bは厚さが例えば $33\text{nm}$ であり、n型不純物として例えばClが例えば $1 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ドーピングされている。アンドープZnSSe光導波層8の厚さは例えば $67\text{nm}$ である。p型ZnMgSSeクラッド層9は厚さが例えば $1\mu\text{m}$ であり、p型不純物として例えばNが例えば $1 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ドーピングされている。p型ZnSSeキャップ層10は厚さが例えば $400\text{nm}$ であり、p型不純物として例えばNが例えば $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ドーピングされている。p型ZnSeコンタクト層11は厚さが例えば $200\text{nm}$ であり、p型不純物として例えばNが例えば $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ドーピングされている。p型ZnSe/ZnTeMQW層12を構成するp型ZnSe層およびp型ZnTe層にはそれぞれp型不純物として例えばNがドーピングされている。p型ZnTeコンタクト層13は厚さが例えば $100\text{nm}$ であり、p型不純物として例えばNが例えば $3 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ ドーピングされている。

【0050】p型ZnSSeキャップ層10の上層部、p型ZnSeコンタクト層11、p型ZnSe/ZnTeMQW層12およびp型ZnTeコンタクト層13は、一方向(例えば、 $\langle 1-10 \rangle$ 方向)に延在するストライプ形状を有する。

【0051】このストライプ部以外の部分におけるp型ZnSSeキャップ層10上には、例えば $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜からなる絶縁層14が設けられており、これによって電流狭窄構造が形成されている。なお、この絶縁層14としては、例えばポリイミドを用いてもよい。

【0052】この絶縁層14およびp型ZnTeコンタクト層13上には、例えばPd/Pt/Au構造のp側電極15が、p型ZnTeコンタクト層13にオーミックコンタクトして設けられている。一方、n型GaAs基板1の裏面には、例えばIn電極のようなn側電極16がオーミックコンタクトして設けられている。

【0053】この第1の実施形態による半導体レーザの

活性層 7 の近傍のエネルギーバンド図を図 7 に示す。図 7 から明らかなように、この場合、活性層 7 は、n 型 ZnSSe 光導波層 6a と n 型 ZnSSe 光導波層 6b との間にはさまれており、n 型ドーピング層中に設けられている。そして、活性層 7 は、n 型ドーピング層、p 型ドーピング層およびアンドープ層の厚さおよびドーピング濃度を上述のように設定していることにより、n 型 ZnSSe 光導波層 6b とアンドープ ZnSSe 光導波層 8 との境界から距離  $L \geq L_{n0}$  だけ離されている。

【0054】次に、上述のように構成されたこの第 1 の実施形態による半導体レーザの製造方法について説明する。

【0055】この半導体レーザを製造するには、まず、図示省略した III-V 族化合物半導体成長用の MBE 装置の超高真空中に排気された真空容器内の基板ホルダーに n 型 GaAs 基板 1 を装着する。

【0056】次に、この n 型 GaAs 基板 1 を所定の成長温度、例えば 560℃ に加熱した後、この n 型 GaAs 基板 1 上に MBE 法により、n 型 GaAs バッファ層 2 を成長させる。この場合、n 型不純物である Si のドーピングは、Si の分子線源（クヌーセンセル）を用いて行う。なお、この n 型 GaAs バッファ層 2 の成長は、n 型 GaAs 基板 1 を例えば 580℃ 付近の温度に加熱してその表面をサーマルエッチングすることにより表面酸化膜などを除去して表面清浄化を行った後に行ってもよい。

【0057】次に、このようにして n 型 GaAs バッファ層 2 が成長された n 型 GaAs 基板 1 を、図示省略した真空搬送路を介して、上述の III-V 族化合物半導体成長用の MBE 装置から、図 8 に示す III-V 族化合物半導体成長用の MBE 装置に搬送する。そして、この図 8 に示す MBE 装置において、レーザ構造を形成する各 III-V 族化合物半導体層の成長を行う。この場合、n 型 GaAs バッファ層 2 の表面は、その成長が行われてから図 8 に示す MBE 装置に搬送される間に大気にさらされないで、清浄のまま保たれる。

【0058】図 8 に示すように、この MBE 装置においては、図示省略した超高真空排気装置により超高真空中に排気された真空容器 21 内に基板ホルダー 22 が設けられ、この基板ホルダー 22 に成長を行うべき基板が載置される。この真空容器 21 内には、基板ホルダー 22 に対向して複数の分子線源（クヌーセンセル）23 が取り付けられている。この場合、分子線源 23 としては、Zn、Se、Mg、ZnS、Cd、Te、ZnCl<sub>2</sub> などの分子線源が用意されている。これらの分子線源 23 のそれぞれの前方にはシャッター 24 が開閉可能に設けられている。真空容器 21 内にはさらに、電子サイクロトロン共鳴（ECR）または高周波（RF）によるプラズマセル 25 が基板ホルダー 22 に対向して取り付けられている。真空容器 21 内にはまた、反射型高速電子回折

（RHEED）電子銃 26 および蛍光スクリーン 27 が取り付けられており、基板表面の RHEED 像を観察することができるようになっている。真空容器 21 内にはさらに、四重極質量分析計 28 も取り付けられている。

【0059】さて、n 型 GaAs バッファ層 2 上にレーザ構造を形成する各 III-V 族化合物半導体層を成長させるためには、図 8 に示す MBE 装置の真空容器 21 内の基板ホルダー 22 に、この n 型 GaAs バッファ層 2 が成長された n 型 GaAs 基板 1 を装着する。次に、この n 型 GaAs 基板 1 を所定の成長温度、例えば約 300℃ に設定して MBE 法による成長を開始する。すなわち、n 型 GaAs バッファ層 2 上に、n 型 ZnSe バッファ層 3、n 型 ZnSSe バッファ層 4、n 型 ZnMgSSe クラッド層 5、n 型 ZnSSe 光導波層 6a、活性層 7、n 型 ZnSSe 光導波層 6b、アンドープ ZnSSe 光導波層 8、p 型 ZnMgSSe クラッド層 9、p 型 ZnSSe キャップ層 10、p 型 ZnSe コンタクト層 11、p 型 ZnSe/ZnTe MQW 層 12 および p 型 ZnTe コンタクト層 13 を順次成長させる。

【0060】n 型 ZnSe バッファ層 3、n 型 ZnSSe バッファ層 4、n 型 ZnMgSSe クラッド層 5、n 型 ZnSSe 光導波層 6a、活性層 7 および n 型 ZnSSe 光導波層 6b の n 型不純物としての Cl のドーピングは、例えば ZnCl<sub>2</sub> をドーパントとして用いて行う。また、p 型 ZnMgSSe クラッド層 9、p 型 ZnSSe キャップ層 10、p 型 ZnSe コンタクト層 11、p 型 ZnSe/ZnTe MQW 層 12 および p 型 ZnTe コンタクト層 13 の p 型不純物としての N のドーピングは、図 8 に示す MBE 装置のプラズマセル 25 において、窒素ガス導入管 25a から導入される N<sub>2</sub> ガスのプラズマ化を行い、これにより発生された N<sub>2</sub> プラズマを基板表面に照射することにより行う。

【0061】次に、p 型 ZnTe コンタクト層 13 上にリソグラフィーにより一方向に延在するストライプ形状のレジストパターン（図示せず）を形成した後、このレジストパターンをマスクとして例えばウェットエッチング法により p 型 ZnSSe キャップ層 10 の厚さ方向の途中の深さまでエッチングする。これによって、p 型 ZnSSe キャップ層 10 の上層部、p 型 ZnSe コンタクト層 11、p 型 ZnSe/ZnTe MQW 層 12 および p 型 ZnTe コンタクト層 13 が〈110〉方向に延在するストライプ形状にパターニングされる。

【0062】次に、このエッチングに用いたレジストパターンをそのまま残した状態で、真空蒸着法などにより全面に Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜を形成する。この後、このレジストパターンをその上の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜とともに除去する（リフトオフ）。これによって、ストライプ形状にパターニングされた p 型 ZnSSe キャップ層 10 の上層部、p 型 ZnSe コンタクト層 11、p 型 ZnSe/ZnTe MQW 層 12 および p 型 ZnTe コンタクト層 13 の両

側の部分に絶縁層14が形成される。

【0063】次に、ストライプ形状のp型ZnTeコンタクト層13およびその両側の部分の絶縁層14の全面に例えば真空蒸着法によりPd膜、Pt膜およびAu膜を順次形成してPd/Pt/Auからなるp側電極15を形成する。この後、必要に応じて熱処理を行って、このp側電極15をp型ZnTeコンタクト層13にオーミックコンタクトさせる。一方、n型GaAs基板1の裏面に例えばIn電極のようなn側電極16を形成する。

【0064】次に、以上のようにしてレーザ構造が形成されたn型GaAs基板1をバー状に劈開して両共振器端面を形成し、さらに必要に応じて端面コーティングを施した後、このバーを劈開してチップ化する。このようにして得られるレーザチップはヒートシンク上にマウントされ、パッケージングが行われ、目的とする半導体レーザが製造される。

【0065】図9は、この第1の実施形態の場合とn型ZnMgSSeクラッド層5にのみC1ドーピングを行った場合とで素子寿命を測定した結果を示す。図9より、n型ZnMgSSeクラッド層5にのみC1ドーピングを行った従来の半導体レーザに比べて、従来の半導体レーザにおけるp型ZnSSe光導波層の厚さの約1/3のところまでC1ドーピングを行ったこの第1の実施形態による半導体レーザは、寿命が大幅に長くなっていることがわかる。

【0066】以上のように、この第1の実施形態によれば、活性層7が空乏層から $L \geq L_{p0}$ だけ離れたn型ドーピング層中に設けられているので、具体的にはn型ZnSSe光導波層6aとn型ZnSSe光導波層6bとの間に設けられていることにより、活性層7が空乏化するのを防止することができる。これによって、活性層7には平衡状態において電界がかかることがないため、活性層7内部の伝導型をn型に保つことができる。点欠陥の一つであるI族空孔はアクセプタとして働くため、活性層7の伝導型をn型に保つことで容易に自由電子を取り込み、電子状態を安定化することができる。これによって、I族空孔は移動しにくくなるため、これを介したCdの拡散は起こりにくくなる。したがって、活性層7を成長させた後にp型ドーピング層を成長させる際の基板温度が高い状態や、半導体レーザとして通電している際に非発光再結合によって活性層7の温度が上昇している場合には、熱エネルギーの吸収によって点欠陥の移動が促進されるが、I族空孔の場合には活性層7の伝導型をn型に保つことでその移動度を下げることが出来、その結果、Cd原子の拡散を抑制することができる。

【0067】以上により、活性層7の劣化を防止することができ、また、キャリアの注入効率も良好とすることができ、特性が良好で、低しきい値電流で、信頼性が高

く、しかも長寿命の半導体レーザを実現することができる。

【0068】次に、この発明の第2の実施形態による半導体レーザについて説明する。

【0069】今、第1の実施形態による半導体レーザにおけるn型ZnSSe光導波層6bおよびアンドロップZnSSe光導波層8の全体の厚さを $l_g$ 、n型ZnSSe光導波層6bの厚さを $L$ 、アンドロップZnSSe光導波層8の厚さを $l$ とすると、 $l_g = L + l$ であるから、

$$(13) \text{ 式は、 } l = l_g - x \text{ を代入して、} \\ (N_d / N_a - 1) x^2 + 2 l_g x = (2 \epsilon_0 \epsilon / e N_d) V_{Bi}$$

となる。 $N_a = N_d$ を仮定し、この方程式を $x$ について解くと、

$$x = (\epsilon_0 \epsilon / e N_a l_g) V_{Bi}$$

となる。例えば、 $V_{Bi} = 2.6 \text{ eV}$ 、 $N_a = 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $N_d = 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $l = 100 \text{ nm}$ 、 $\epsilon = 9.3$ とすると、 $x = 13.4 \text{ nm}$ となる。

【0070】そこで、この第2の実施形態においては、 $L \geq 13.4 \text{ nm}$ に設定する。その他のことは、第1の実施形態と同様である。

【0071】この第2の実施形態によっても、第1の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0072】図10はこの発明の第3の実施形態による半導体レーザを示す。また、図11はこの第3の実施形態による半導体レーザの活性層近傍のエネルギーバンド図を示す。

【0073】図10に示すように、この第3の実施形態による半導体レーザにおいては、n型ZnMgSSeクラッド層5上にアンドロップZnSSe光導波層6c、p型ZnSSe光導波層6d、p型の活性層7およびp型ZnSSe光導波層17が順次積層されている。言い換えれば、この場合、活性層7は、p型ZnSSe光導波層6dとp型ZnSSe光導波層17との間にはさまれており、p型ドーピング層中に設けられている。そして、図11に示すように、活性層7は、p型ZnSSe光導波層6dとアンドロップZnSSe光導波層6cとの境界から距離 $L \geq L_{p0}$ だけ離されている。その他のことは第1の実施形態による半導体レーザと同様である。

【0074】この第3の実施形態によれば、活性層7が空乏層から $L \geq L_{p0}$ だけ離れたp型ドーピング層中に設けられているので、具体的にはp型ZnSSe光導波層6dとp型ZnSSe光導波層17との間に設けられていることにより、活性層7が空乏化するのを防止することができ、常に活性層7近傍のフェルミ準位を価電子帯直上に保持することができる。このため、活性層7の伝導型をp型に保つことができるので、ドナーとして働く点欠陥の電子状態を安定化することができ、その凝集および増殖を抑制することができる。これは特にV族空孔が活性層7の点欠陥の大部分を占める場合に有効であ

る。

【0075】以上により、活性層7の劣化を防止することができ、また、キャリアの注入効率も良好とすることができ、特性が良好で、低しきい値電流で、信頼性が高く、しかも長寿命の半導体レーザを実現することができる。

【0076】図12はこの発明の第4の実施形態による半導体レーザを示す。図12に示すように、この第4の実施形態による半導体レーザにおいては、n型ZnSSeバッファ層4上にn型ZnMgSSeクラッド層5a、n型ZnMgSSeクラッド層5b、アンドロップZnSSe光導波層6c、アンドロップの活性層7、アンドロップZnSSe光導波層8、p型ZnMgSSeクラッド層9aおよびp型ZnMgSSeクラッド層9bが順次積層されている。ここで、n型ZnMgSSeクラッド層5aのドーピング濃度は $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、n型ZnMgSSeクラッド層5bのドーピング濃度はn型ZnMgSSeクラッド層5aのドーピング濃度の約1/3の $8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、p型ZnMgSSeクラッド層9aのドーピング濃度は $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である。また、ドーピング濃度が低いn型ZnMgSSeクラッド層5bの厚さは進入長 $L_n$ より大きく選ばれており、具体的には300nmである。その他のことは、第1の実施形態と同様である。

【0077】この第4の実施形態によれば、活性層7から進入長 $L_n$ の範囲内にあるn型ZnMgSSeクラッド層5bのドーピング濃度は活性層7から見てより外側にあるn型ZnMgSSeクラッド層5aのドーピング濃度よりも低く選ばれているので、このn型ZnMgSSeクラッド層5b内部にしみだしている光によって励起され、拡散するC1原子の数を最小限にすることができる。これによって、活性層7の劣化を抑えることができ、また、しきい値電流の増大もなく、特性が良好で、低しきい値電流で、信頼性が高く、しかも長寿命の半導体レーザを実現することができる。

【0078】次に、上述の第1、第2、第3または第4の実施形態による青色ないし緑色で発光可能な半導体レーザを発光素子として用いた光ディスク再生装置について説明する。図13にこの光ディスク再生装置の構成を示す。

【0079】図13に示すように、この光ディスク再生装置は、発光素子として半導体レーザ101を備えている。この半導体レーザ101としては、上述の第1または第2の実施形態による半導体レーザが用いられる。この光ディスク再生装置はまた、半導体レーザ101の出射光を光ディスクDに導くとともに、この光ディスクDによる反射光（信号光）を再生するための公知の光学系、すなわち、コリメートレンズ102、ビームスプリッタ103、1/4波長板104、対物レンズ105、検出レンズ106、信号光検出用受光素子107および

信号光再生回路108を備えている。

【0080】この光ディスク再生装置においては、半導体レーザ101の出射光Lはコリメートレンズ102によって平行光にされ、さらにビームスプリッタ103を経て1/4波長板104により偏光の具合が調整された後、対物レンズ105により集光されて光ディスクDに入射される。そして、この光ディスクDで反射された信号光L'が対物レンズ105および1/4波長板104を経てビームスプリッタ103で反射された後、検出レンズ106を経て信号光検出用受光素子107に入射し、ここで電気信号に変換された後、信号光再生回路108において、光ディスクDに書き込まれた情報が再生される。

【0081】この光ディスク再生装置によれば、半導体レーザ101として、寿命が長い第1、第2、第3または第4の実施形態による半導体レーザを用いているので、光ディスク再生装置の寿命を長くすることができる。

【0082】なお、ここでは、第1、第2、第3または第4の実施形態による半導体レーザを光ディスク再生装置の発光素子に適用した場合について説明したが、光ディスク記録再生装置や光通信装置などの各種の光装置の発光素子に適用することが可能であることは勿論、高温で動作させる必要のある車載用機器、さらには映像ディスプレイなどの発光素子に適用することも可能である。

【0083】以上、この発明の実施形態について具体的に説明したが、この発明は、上述の実施形態に限定されるものではなく、この発明の技術的思想に基づく各種の変形が可能である。

【0084】例えば、上述の第1、第2、第3または第4の実施形態においては、SCH構造を有する半導体レーザにこの発明を適用した場合について説明したが、この発明は、DH構造（Double Heterostructure）を有する半導体レーザに適用することも可能である。また、上述の第1および第2の実施形態においては、この発明を半導体レーザに適用した場合について説明したが、この発明は、発光ダイオードに適用することも可能である。

【0085】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、特性が良好で、信頼性が高く、かつ長寿命の半導体発光素子を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の原理を説明するためのエネルギーバンド図である。

【図2】この発明の原理を説明するための略線図である。

【図3】この発明の原理を説明するためのエネルギーバンド図である。

【図4】この発明の原理を説明するためのエネルギーバンド図である。

【図5】光導波層の合計厚さと進入長との関係を示す略線図である。

【図6】この発明の第1の実施形態による半導体レーザを示す断面図である。

【図7】この発明の第1の実施形態による半導体レーザのエネルギーバンド図である。

【図8】この発明の第1の実施形態においてI I-V I族化合物半導体層の成長に用いられるMBE装置を示す略線図である。

【図9】この発明の第1の実施形態による半導体レーザにおける寿命の測定結果を示す略線図である。

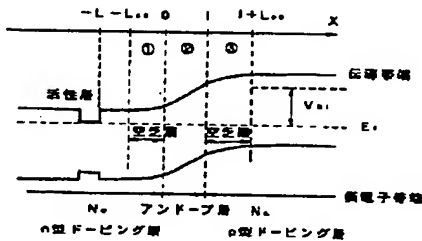
【図10】この発明の第3の実施形態による半導体レーザを示す断面図である。

【図11】この発明の第3の実施形態による半導体レーザのエネルギーバンド図である。

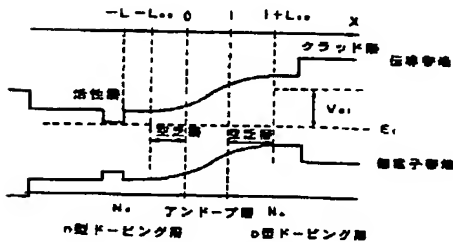
【図12】この発明の第4の実施形態による半導体レーザを示す断面図である。

【図13】この発明の第1、第2、第3または第4の実

【図1】



【図3】



施形態による半導体レーザを発光素子として用いた光ディスク再生装置を示す略線図である。

【図14】従来の半導体レーザの問題点を説明するための断面図である。

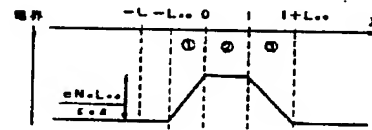
【図15】従来の半導体レーザの問題点を説明するための断面図である。

【図16】従来の半導体レーザの問題点を説明するための断面図である。

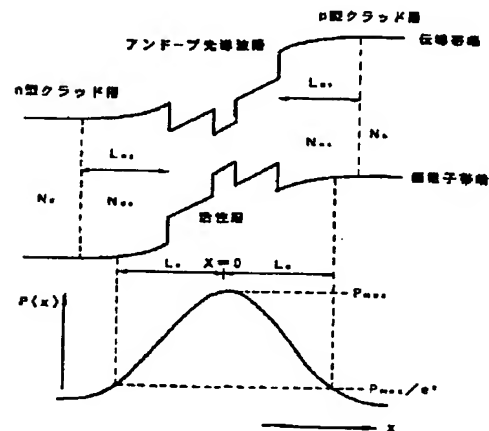
【符号の説明】

1・・・n型GaAs基板、5・・・n型ZnMgSSeクラッド層、6a、6b・・・n型ZnSSe光導波層、6c、8、18・・・アンドープZnSSe光導波層、7・・・活性層、9、9a、9b・・・p型ZnMgSSeクラッド層、11・・・p型ZnSeコンタクト層、12・・・p型ZnSe/ZnTeMQW層、13・・・p型ZnTeコンタクト層、15・・・p側電極、16・・・n側電極、17・・・p型ZnSSe光導波層

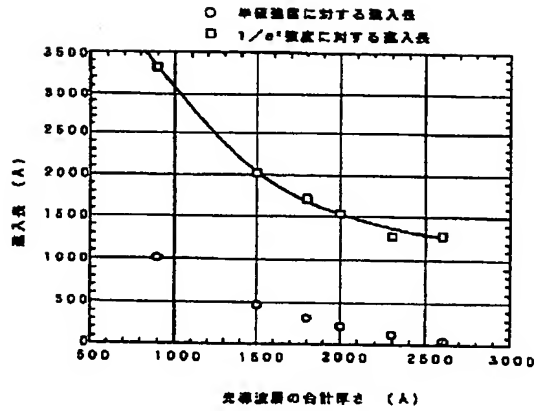
【図2】



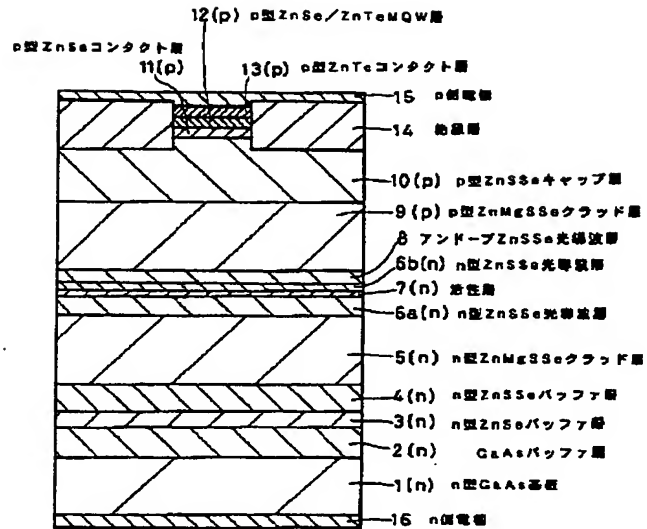
【図4】



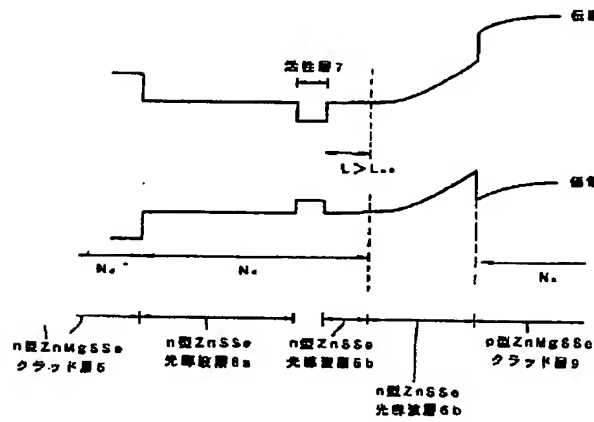
【図5】



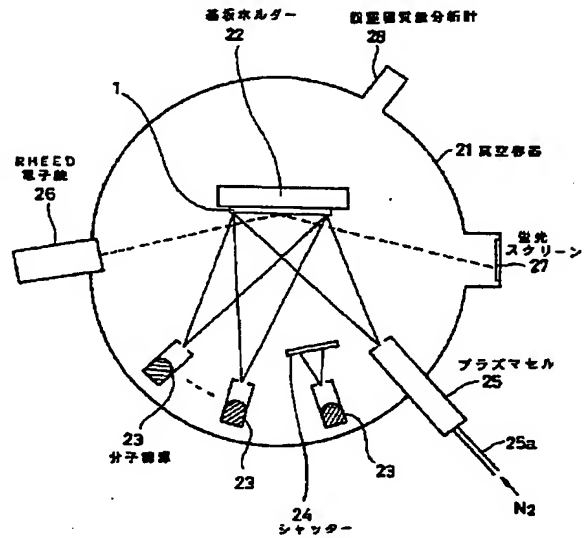
【図6】



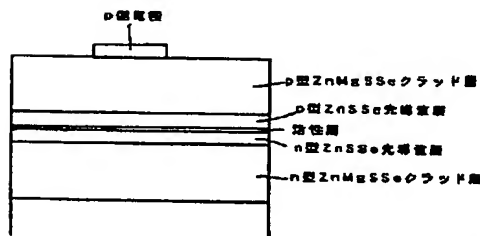
【図7】



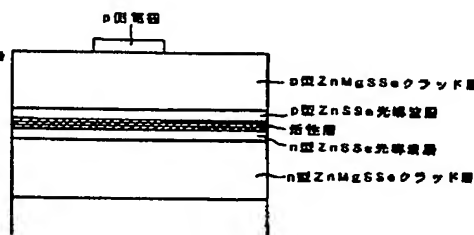
【図8】



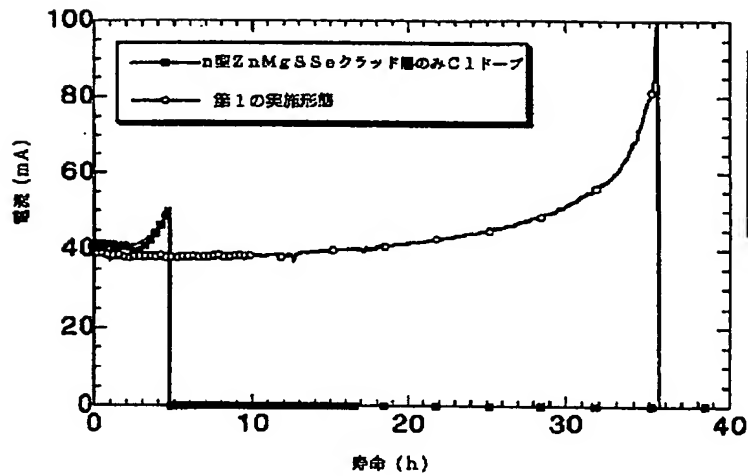
【図14】



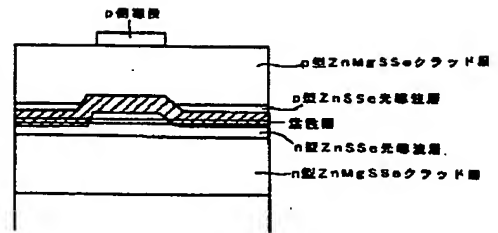
【図15】



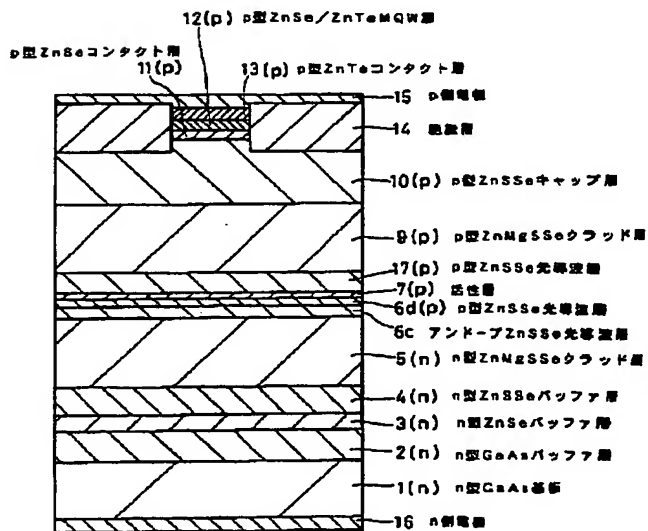
【図9】



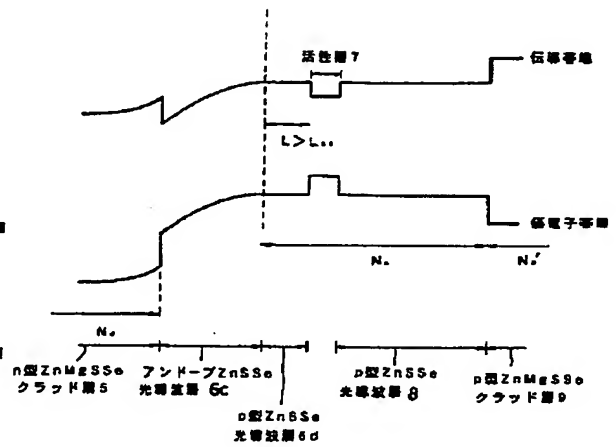
【図16】



【図10】

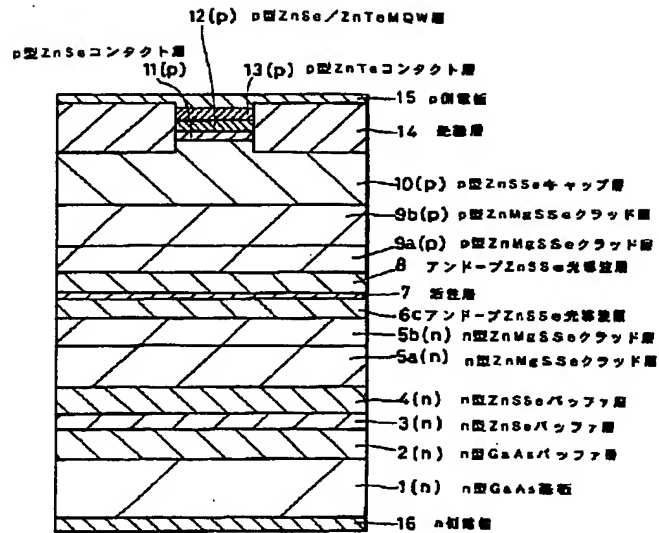


【図11】





【図12】



【図13】

